

一起系留式观光气球事故分析与启示

陈卫卫¹, 王银兰, 李尼亚, 任月明, 朱丹

中国特种设备检测研究院 国家市场监督管理总局技术创新中心(大型游乐设施健康管控), 北京 100029

摘要 : 本文调研了国内外系留式观光气球事故, 重点针对事故后果最为严重的瑞士事故开展了事故原因分析。发现事故主要原因为: 操作人员未遵守操作手册、未关注气象预警信息、在风速显著增大的情况下未停止运营和超载严重等; 事故次要原因为: 吊舱结构设计不合理、系留缆绳设计不合理和安全运行包络空间不足等; 进而提出: 与气象部门联动、加强操作人员培训、优化吊舱结构设计和科学设置安全包络空间等建议。最后, 为国家标准制定提出了一些条款建议。

关键词 : 系留式观光气球; 气象预警; 剩余浮力; 安全包络空间

Investigation and Suggestion of A Tethered Tourist Gas Balloon Accident

Chen Weiwei¹, Wang Yinlan, Li Niya, Ren Yueming, Zhu Dan

China Special Equipment Inspection and Research Institute, Technology Innovation Center of Health Management of Large-scale Amusement Device State Administration for Market Regulation, Beijing 100029

Abstract : This paper investigated the accidents of tethered tourist gas balloon, and analyzed the most serious accidents in Switzerland in detail. It was found that the main causes of the accident were: the operator did not comply with the operation manual, did not pay attention to the meteorological warning information, did not stop the operation when the wind speed increased significantly, and serious overload. The secondary causes of the accident are unreasonable design of the gondola structure, unreasonable design of the tether cable and insufficient envelope space for safe operation. Some suggestions are put forward, such as strengthening ties with meteorological department, strengthening operator training, design optimizing of gondola structure and scientifically setting up safety envelope space. Finally, some suggestions are put forward for the development of national standards.

Keywords : tethered tourist gas balloon; meteorological early warning; net buoyancy; safety envelope

系留式观光气球是一种依靠气囊充装氦气产生浮力升空, 受系留缆绳约束, 可变工作高度的用于载人观光的游乐设施。系留式观光气球国外制造商主要有: 法国的 Aerophile 公司、英国的 Lindstrand 公司和美国的 AeroBalloon 公司。国内制造商主要为中国特种飞行器研究所。目前, 大型系留式观光气球升空高度达到 150m, 载人达到 30 人, 一旦发生事故, 后果极为严重。通过搜集调查网络上的系留式观光气球事故或事件案例, 绝大多数原因为大风作用下气球失控, 无法顺利回收气球导致, 其中 2004 年发生于瑞士卢塞恩交通博物馆的事故后果最为严重^[1-3]。本文将主要针对该事故开展原因分析, 并为国内系留式观光气球技术与安全要求提供参考和启示。

一、设备及事故概况

(一) 设备概况

发生事故的气球为英国 Lindstrand Technology 公司制造的 HiFlyer LBL 575 型气球, 位于瑞士卢塞恩的交通博物馆, 气球直径为 22.28m, 体积为 5790m³, 升空高度为 120m, 最多可承载 30 人(包括 1 名操作员)。事故气球制造日期为 2000 年, 已执行 11593 次。

HiFlyer LBL 575 型气球主要由气囊系统、吊舱系统、升空回

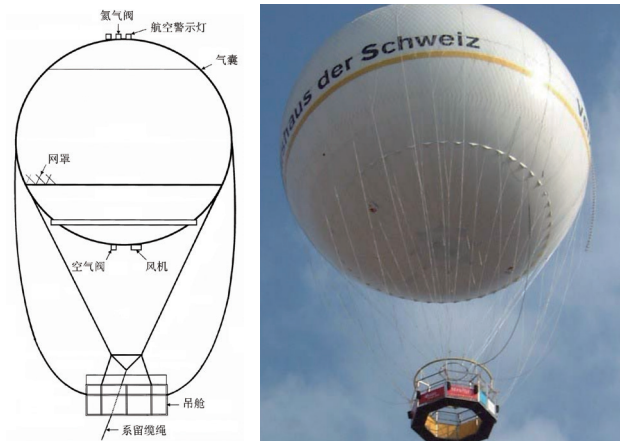
收系统和控制系统组成, 如图 1 所示。

气囊内分为氦气室和空气室, 氦气室内充装氦气产生升力, 空气室用来补偿氦气体积的波动, 通过补充空气使气囊保持球形。吊舱由八角形不锈钢结构焊接而成, 为宽度 80cm 的环形结构, 乘客可站立走动观光。升空回收系统由电机、减速机、卷筒、系留缆绳和制动系统等组成。系留缆绳直径 22mm, 长度 180m, 最小破断载荷为 42.3t。单层缠绕卷筒直径为 1.5m。操作人员通过无线通信从吊舱内的控制面板对气球进行控制, 在地面也有一个控制台, 优先级高于吊舱内控制面板^[3]。

基金项目: 国家市场监督管理总局科技计划项目(项目编号: 2021MK179)。

作者简介: 陈卫卫(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事大型游乐设施检验检测新技术、新方法和标准法规等方面的研究工作。

通讯作者: 陈卫卫, 邮箱: chenweiwei@buaa.edu.cn。



a) 简图
> 图1事故设备

(二) 事故概况

在事故发生前几天，没有发现违规操作行为。2004年7月23日，事故当天，按照规定，由项目主管按照检查清单完成了日常检查，并研究了天气预报。然后进行试飞，并在相应的日志中进行了书面记录。瑞士气象局在早晨就向气球运营单位传真了一份天气预报资料，表明全天都有降雨和雷暴的危险。试飞结束后，该气球共进行了8次载客运行，共搭载119名乘客。

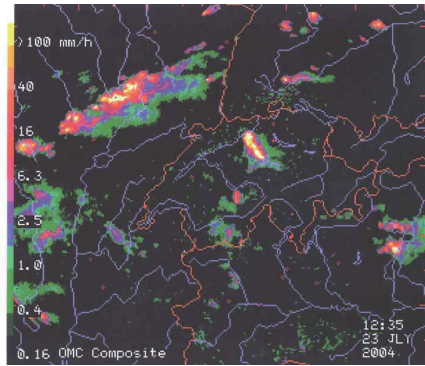
在没有事先通知项目经理的情况下，一队印度游客计划进行第8次和第9次载客运行。14时20分，第8次载客运行时，由于剩余浮力不足，项目主管让两名印度乘客改乘下班。在这次运行中，气球上升到达140m的高度。由于时间紧迫，气球在这个高度只停留了一分钟。本次运行中，风速为8节，剩余浮力为760kg。这次飞行是由项目主管执行的。

第9次运行前的天气短暂平静，项目主管告诉地面操作人员，他将进行最后一次飞行，本次搭载乘客24人（不含吊舱内操作人员1人）。地面操作人员发现天气越来越糟了，地面风速达到约5.14m/s。项目主管同意他通过地面控制台回收气球。由于风速达到9.25m/s，地面操作人员发现难以回收气球，立即通知了项目经理。项目经理接管了地面控制台，并控制气球短暂缓慢上升，然后继续回收气球。由于风速过大，气球快速侧向漂移失去控制，撞到了附近建筑物的屋顶。系留缆绳倾角也超过了设计允许，与吊舱框架接触并切割破坏了地板，导致1名乘客从洞口掉落死亡。经过接近半个小时之后，吊舱降落到出发站台，吊舱内还有10名乘客受重伤，13名乘客和项目主管受轻伤^[3]。

二、事故原因分析

(一) 天气条件恶劣

气球操作手册要求“气球不得在雷暴或非常不稳定的天气临近前运营^[4]”。气象部门发送的恶劣天气预警信息（见图2）没有引起气球操作人员的注意。事故发生前，附近酒店的风暴警示灯在闪烁，但操作人员没有看到。尽管天气条件明显恶劣，操作人员还是决定进行了当日第8次和第9次运行。



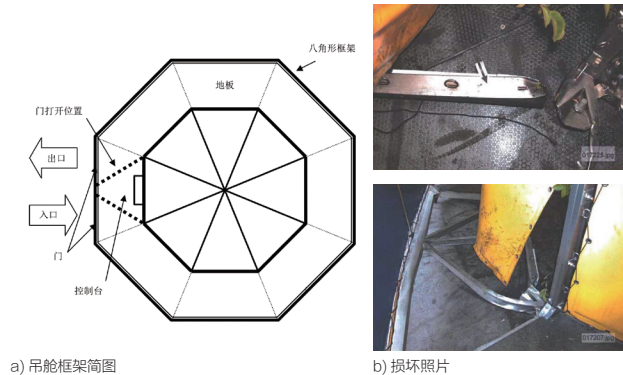
> 图2风暴预警信息^[3]

(二) 剩余浮力不足

从运行日志中可以看到，平均每天有2-5次运行是在超载的情况下进行的，即没有遵守操作手册最小操作剩余浮力的规定^[4]。根据操作手册，操作人员使用上一次上升时在140m高度测量的最大风速确定本次的乘客数量。如果以实际上升过程中所测得的风速确定本次乘客数量，会发现在2004年4月1日至7月23日期间的总共1448次运行中，约有24%是在超载情况下进行的。事故发生的当次运行，剩余浮力不足，气球超载严重。

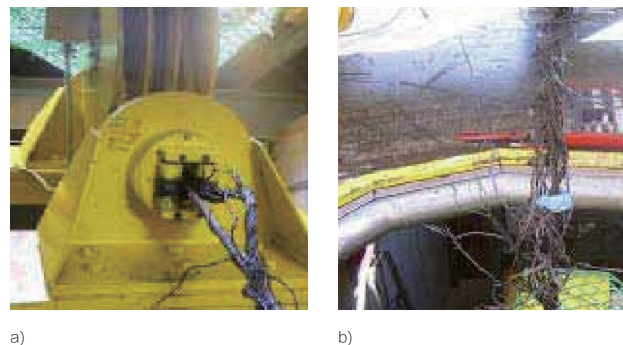
(三) 吊舱结构不合理

系留缆绳和吊舱框架的可能接触部位没有防护，如：橡胶套或尼龙护板。大风中，系留缆绳切割吊舱框架和地板，导致框架断裂，地板缺损，乘客从破洞掉落，吊舱简图^[4]和受损情况见图3。



a) 吊舱框架简图
> 图3吊舱框架简图及损坏照片^[3]

系留缆绳同样受损严重，有2/3左右的钢丝断裂，如图4所示。事故后测试数据显示，未受损部位系留缆绳样绳破断拉力达到480kN，受损严重部位系留缆绳样绳破断拉力仅65kN，强度损失达86.5%。



a)
> 图4系留缆绳受损^[3]

（四）安全包络空间不足

由于在气球回收过程中，安全包络空间不足，吊舱底部多次与附近建筑物屋顶撞击，造成乘客在吊舱内翻滚碰撞，导致10名乘客受重伤。建筑物也受到了一定程度的损坏，见图5。



> 图5建筑物屋顶损坏^[3]

三、事故启示与建议

（一）与气象部门联动

《通用航空飞行管制条例》明确规定，进行升放无人驾驶自由气球或者系留气球活动，必须经设区的市级以上气象主管机构会同有关部门批准^[5]。建议气象部门将系留式观光气球纳入《升放气球管理办法》^[6]管理范围，使用单位应向气象部门报备飞行活动，每天运营前应从当地气象部门获取天气预报数据，合理开展飞行活动。

（二）加强操作人员培训

《大型游乐设施安全技术规程》规定：“操作人员、维护保养人员和服务人员在上岗前应当通过运营使用单位组织的大型游乐设施相关培训；培训的内容应当至少包括大型游乐设施操作规

程、相应的岗位责任、职业安全教育、应急操作流程和应急预案，对于维护保养人员的培训，应当有检测和维护保养等内容；每台登记在册的大型游乐设施应至少配备一名持证操作人员”^[7]。《热气球运动管理办法》规定，进行热气球飞行必须持有民航总局颁发的驾驶执照或中国航协颁发的飞行学员合格证^[8]。

系留式观光气球兼具大型游乐设施和航空器属性，建议操作人员在完成大型游乐设施相关培训取得相应资质的同时，学习热气球飞行相关课程，并取得飞行执照。

（三）优化吊舱结构设计

制造单位应对系留缆绳和吊舱框架的可能接触部位进行防护设计，比如：给系留缆绳增加保护套、为吊舱框架内侧增加耐磨防护结构等。

（四）科学设置安全包络空间

在进行系留式观光气球安全包络空间设计时，要综合考虑气球直径、气球高度、气球在大风作用下可能产生的偏摆角度等诸多因素。足够的安全包络空间能够避免气球在升空和回收时与周边建筑和树木发生干涉或碰撞^[9]。

四、结论

深入调研了瑞士飞行事故调查局发布的第1835号气球事故调查报告，在充分分析事故原因的情况下，给出了一些管理和设计方面的改进措施。在GB/T 20051-2006《无动力类游乐设施技术条件》^[10]基础上，标准制定过程中提出了增加以下条款的建议：

1. 使用单位应及时从当地气象部门获取天气预报数据，在大风、雷电和暴雨等恶劣天气来临1h前应停止使用，待天气晴朗后方可恢复使用。
2. 使用现场地面应有以系留缆绳为中心，半径不小于12m的安全区域，架设和运营场地上空 $\pm 45^\circ$ 区域内应无障碍物。
3. 使用现场应有乘客体重测量装置。
4. 在最大允许使用风速下，剩余浮力应满足系留缆绳偏角不大于 30° 的要求。

参考文献

- [1] 海洋公园氦气球事故调查报告 [R]. 香港：机电工程署，2012.
- [2] Balloon Over Baltimore Incident Report [R]. US: Division of Labor and Industry, 2004.
- [3] Investigation report No. 1835 on the accident to the tethered balloon HiFlyer on 23 July 2004 in Lucerne [R]. CH: Aircraft Accident Investigation Bureau, 2004.
- [4] HIFLYER FLIGHT MANUAL [R]. Lindstrand Technologies Ltd, 2004.
- [5] 通用航空飞行管制条例 [EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_3211.htm.
- [6] 升放气球管理办法 [EB/OL]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5582636.htm.
- [7] 大型游乐设施安全技术规程 [EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content_6918729.htm.
- [8] 热气球运动管理办法 [EB/OL]. <https://casballoon.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=7&id=21>.
- [9] Tethered Balloon World Leader - Aerophile [EB/OL]. <https://www.aerophile.com/en/tethered-balloon/>.
- [10] GB/T 20051-2006 无动力类游乐设施技术条件 [S].